

分类号

密级

U D C

编号

厦门大学

深圳市计量质量检测研究院

博士后研究工作报告

物联网 RFID 计量测试技术及量传方法研究

朱晨

工作完成日期 2016-7-30

报告提交日期 2016-8-30

厦门大学

深圳市计量质量检测研究院

2016 年 9 月

物联网 RFID 计量测试技术及量传方法研究

Research on Metrology and testing technique of IoT RFID

博士后姓名 朱晨

流动站（一级学科）名称 物理学

专业（二级学科）名称 微电子学与固体电子学

工作站深圳市计量质量检测研究院

研究工作起始时间 2014 年 8 月

研究工作期满时间 2016 年 8 月

厦门大学

深圳市计量质量检测研究院

2016 年 9 月

厦门大学博士后研究工作报告

著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用博士后研究工作报告的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交该报告的纸质版和电子版，有权将该报告用于非赢利目的的少量复制并允许该报告进入学校图书馆被查阅，有权将该报告的内容编入有关数据库进行检索，有权将博士后研究工作报告的标题和摘要汇编出版。保密的博士后研究工作报告在解密后适用本规定。

本研究报告属于： 1、保密（ ）， 2、不保密（ ）

纸本在年解密后适用本授权书；

电子版在 年解密后适用本授权书。

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

摘 要

随着以物联网为代表的新一代电子通信技术的迅猛发展，全球范围内正在掀起一场新的科技革命与产业变革。物联网是一个跨行业、跨领域、具有明显交叉学科特征、面向应用的综合信息系统。物联网的感知层关键技术是 RFID（Radio Frequency Identification，无线射频识别）技术。虽然目前 RFID 技术没有形成统一的全球化标准，但已逐步进入商业化应用阶段，显示出巨大的发展潜力与广阔的应用前景。因此，本文研究了物联网 RFID 技术的测试与计量方法。

本文首先概要性的介绍了物联网的基本概念与发展情况，重点介绍了物联网的体系架构和主要关键技术。然后，本文系统的介绍了 RFID 的基本工作原理、主要组件的硬件结构和国内外的 RFID 标准发展现状。

基于现有的 RFID 技术标准、应用标准以及相关的测试标准，本文提出了 RFID 技术的测试体系。将 RFID 测试技术分为了功能测试、性能测试、质量测试与安全性测试 4 个方面，本文主要研究其中的功能测试与性能测试两个方面。功能测试可以分为电子标签/读写器射频一致性测试与电子标签/读写器协议一致性测试，本文详细的描述了各个测试项目的测试仪器与测试方法。对于性能测试，本文给出了测试模型，分析了影响 RFID 系统性能的若干个关键参数，提出了测试方法。进一步的，为了满足未来 RFID 技术的批量化生产应用，本文提出了 RFID 自动测试系统的初步架构，设计了该系统的基本软硬件结构以及数据库结构。

在建设 RFID 测试系统的基础上，本文还研究了针对该系统的计量校准方法，给出了校准装置和关键参数的校准方法。通过参考无线射频通信测试仪器的关键参数的不确定度评定，也给出了针对 RFID 测试系统的主要参数的不确定度评定。在量值溯源上，也参考了无线 4G 综合测试仪的量值传递方法，制作了 RFID 校准装置的量值溯源图。

关键词：射频识别；测试系统；计量校准

Abstract

With the rapid development of next generation network which is represented by internet of thing (IoT), the technology revolution and the industry renovation are set off all over the world. IoT is a cross-industry, interdisciplinary, application oriented integrated information system.

Radio Frequency Identification (RFID) is the key technology of the sensing layer of IoT. So far, there are not global uniform standards of RFID, but RFID is progressively putting into application. It shows great development capability and broad application prospects. A research of testing and metrology method of RFID is presented in this paper.

First of all, this paper introduces the basic concept and the development situation of IoT, with emphasis on the architecture and the key technology. Then, this paper makes systematic introduction of the basic operation principle, main component, national and international standards of RFID.

Basic on existing RFID standards, a test system is proposed in this paper. the RFID testing technology is dividing to 4 parts: functional test, performance test, quality test, safety test. This paper mainly studied the functional test and the performance test. The functional test is composed of tag/reader RF conformance test and tag/reader protocol conformance test. The test equipment and the test method of each test item is detailed describe. For the performance test, this paper provides the test model, and analysis the key parameters affecting system performance. The test methods are also presented. Furthermore, to meet the demands of the bulk-production of RFID, this paper designs the primary structure of an automatic test system, includes the hardware and software structure and database.

On the basis of construction of RFID test system, this paper studies the methods of calibration of the system. The calibration equipments and calibration methods of key parameters are presented. Refer to uncertainly evaluation of key parameters of wireless communication test equipments, the uncertainly evaluation of key parameters of RFID test system is provided. For the quantity transfer and traceability, it also refers to the 4G wireless communications tester and the quantity value source-tracing chart is presented.

Keywords: RFID; test system; calibration technology

目录

摘要.....	I
Abstract	II
第 1 章 绪论.....	- 1 -
1.1 物联网的起源与发展现状	- 1 -
1.2 物联网的基本概念与体系结构	- 3 -
1.2.1 物联网的信息功能模型.....	- 4 -
1.2.2 物联网的体系架构.....	- 5 -
1.3 物联网的主要关键技术	- 7 -
1.4 物联网的主要应用	- 9 -
第 2 章 射频识别技术.....	11
2.1 射频识别技术基本原理	11
2.1.1 电子标签.....	12
2.1.2 读写器.....	13
2.1.3 中间件.....	14
2.1.4 电感耦合.....	14
2.1.5 空中接口.....	14
2.2 国外射频识别技术标准发展现状	17
2.2.1 通用技术标准.....	18
2.2.2 数据内容与编码标准.....	21
2.2.3 应用标准.....	21
2.2.4 RFID 系统测试标准	21
2.3 我国射频识别技术标准发展现状	22
第 3 章 射频识别技术测试体系研究.....	24
3.1 RFID 测试体系框架	24
3.1.1 基本概念.....	25
3.1.2 测试条件.....	25
3.1.3 测试仪器.....	27

3.1.4	测试配件.....	29
3.2	电子标签/读写器射频一致性测试.....	39
3.2.1	射频一致性测试方法.....	39
3.3	电子标签/读写器协议一致性测试.....	43
3.3.1	协议一致性测试架构模式.....	44
3.3.2	协议一致性测试方法.....	45
3.3.3	协议一致性测试系统设计.....	50
3.4	RFID 系统性能测试	53
3.4.1	测试模型.....	53
3.4.2	测试方法.....	53
3.4.3	性能分析.....	56
第 4 章	自动测试系统设计.....	58
4.1	系统介绍	58
4.2	系统结构	59
4.3	软件设计	59
4.3.1	软件模块.....	59
4.3.2	数据库设计.....	61
第 5 章	RFID 测试系统的计量校准	64
5.1	计量特性	64
5.2	校准条件	65
5.2.1	环境条件.....	65
5.2.2	校准装置.....	65
5.3	校准项目和校准方法	66
5.3.1	外观及工作正常性检查.....	66
5.3.2	输出频率.....	67
5.3.3	输出功率.....	67
5.3.4	输出场强.....	68
5.3.5	调制指数.....	69
5.3.6	输出信号波形参数.....	70

5.3.7	数字调制信号邻道功率（频谱模板）	71
5.3.8	输入频率测量.....	71
5.3.9	输入功率测量.....	71
5.3.10	调制指数测量	72
5.4	不确定度评定	72
5.4.1	输出频率测量不确定度.....	72
5.4.2	功率示值误差的测量不确定度评定.....	76
5.5	计量标准的量值溯源和传递	80
第 6 章	总结与展望.....	82
6.1	总结	82
6.2	未来的研究工作	82
参考文献	.....	84
致谢	.....	87
博士生工作期间取得的科研成果	.....	89
博士后工作期间取得的科研成果	.....	91
个人简历	.....	92
联系方式	.....	93

厦门大学博硕士论文摘要库

第1章 绪论

1.1 物联网的起源与发展现状

近年来,随着以物联网为代表的新一代电子通信技术的迅猛发展,全球范围内正在掀起一场新的科技革命与产业变革。物联网突破了人与人之间的通信模式,引入对物理世界的感知和控制,使得人与物、物与物间的通信与协作成为可能。随着人类社会进入高效率的信息化时代,物联网将在未来社会的各个领域发挥重要作用,包括公共安全、医疗卫生、现代教育、智能交通、智能电网、智慧城市、现代物流、现代农业、现代金融等等。物联网有望成为未来支撑人类信息社会高效运转的无线信息流通系统,成为连接世界万物的通道。因此,发展物联网对于促进经济发展与社会进步具有非常重要的现实意义。面对国际金融危机导致的经济困局,以及新一轮技术革命可能带来的历史发展机遇,世界各国纷纷积极开展物联网战略布局,加速通信技术与制造技术、实体经济的相互渗透与融合,期望能在未来国际化的科技与经济竞争中占得先机。

物联网的概念最初来源于美国麻省理工学院在 1999 年建立的自动识别中心提出的 RFID (Radio Frequency Identification, 无线射频识别) 系统,把所有物品通过射频识别等信息传感设备与互联网连接起来,实现智能化识别和管理^[1]。早期的物联网是以物流系统为背景提出的,强调对物品特征的标识,以射频识别技术作为条码识别的替代品,实现对物流系统进行智能化管理。随着技术和应用的发展,物联网的内涵已发生了较大变化。

2005 年,ITU (International Telecommunication Union, 国际电信联盟) 在突尼斯举行的信息社会世界峰会上正式确定了“物联网(Internet of Things)”的概念,并随后发布了《ITU Internet Reports 2005 — the Internet of Things》^[2],介绍了物联网的特征、相关技术、面临的挑战和未来的市场机遇。该报告指出,无所不在的物联网通信时代即将来临,世界上所有的物体都将可以通过互联网进行数据交换。通过在各种各样的日常用品中嵌入短距离移动收发器,人类在信息与通信世界里将获得一个新的沟通维度,从任何时间任何地点的人与人之间的沟通连接扩展到人与物和物与物之间的沟通连接。

2009 年 6 月 18 日，欧盟执行委员会发表了《Internet of Things — an Action Plan for Europe》^[3]，描述了物联网的发展前景，在世界范围内首次系统地提出了物联网发展和管理设想，并提出了 12 项行动保障物联网加速发展，标志着欧盟已经将物联网的实现提上日程。

同年 10 月 13 日，韩国通信委员会通过了《物联网基础设施构建基本规划》，将物联网市场确定为新增长动力，提出了“通过构建世界最先进的物联网基础设施，打造未来广播通信融合领域超一流信息通信技术强国”的目标，并确定了构建物联网基础设施、发展物联网服务、研发物联网技术、营造物联网扩散环境 4 大领域和 12 项详细课题。

美国一直在物联网技术的发展中占据主导和先行地位，奥巴马就职后，进一步宣布将新能源与物联网列为振兴美国经济的两大武器，将物联网上升为国家创新战略的重点之一。

总体来说，发达国家一方面加大力度发展传感器节点核心芯片、嵌入式操作系统、智能计算等核心技术，另一方面加快标准制定和产业化进程，谋求在未来物联网的大规模发展及国际竞争中占据有利位置。

我国物联网发展与全球同处于起步阶段，初步具备了一定的技术、产业和应用基础，呈现出良好的发展态势。早在 1999 年，中科院就启动了对于传感网的研究并取得了一系列的成就。2009 年 8 月 7 日，温家宝总理视察无锡时提出“感知中国”理念，推动了物联网概念在国内的普及，使物联网成为继计算机、互联网和移动通信之后引发新一轮信息产业浪潮的核心领域。2010 年 3 月 5 日，温家宝总理在政府工作报告中将“加快物联网的研发应用”明确纳入战略新兴产业。政策驱动成为了中国物联网发展的最强动力，推动了中国物联网建设从概念推广、政策制定、配套建设到技术研发的快速发展。

2012 年 2 月，工信部正式发布《物联网“十二五”发展规划》^[4]，指明产业未来发展道路，提出到 2015 年初步完成产业体系构建的目标：形成较为完善的物联网产业链，培育和发展 10 个产业聚集区，100 家以上骨干企业，一批“专、精、特、新”的中小企业，建设一批覆盖面广、支撑力强的公共服务平台。2013 年 2 月，国务院发布《关于推进物联网有序健康发展的指导意见》^[5]，提出的物联网建设的总体目标是：实现物联网在经济社会各领域的广泛应用，掌握物联网关键

核心技术，基本形成安全可控、具有国际竞争力的物联网产业体系，成为推动经济社会智能化和可持续发展的重要力量；近期目标是：到 2015 年，实现物联网在经济社会重要领域的规模示范应用，突破一批核心技术，初步形成物联网产业体系，安全保障能力明显提高。

如图 1-1^[6]所示，市场调查数据显示中国物联网产业数据近年来呈快速增长趋势。预计未来三年中国物联网市场增长率都将保持在 30%以上。据预测，到 2015 年，这一规模将达到 7500 亿元，发展前景将超过计算机、互联网、移动通信等传统 IT 领域；到 2017 年，产业规模将逼近万亿元大关。

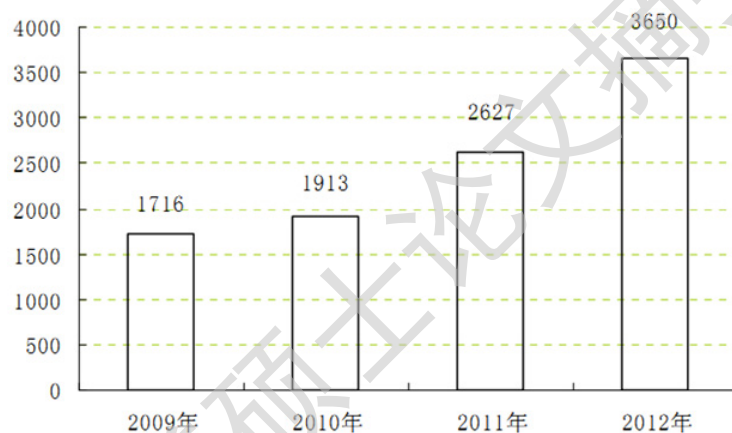


图 1-1 2009-2012 年中国物联网产业市场规模变化情况（单位：亿元）

1.2 物联网的基本概念与体系结构

物联网是一个跨行业、跨领域、具有明显交叉学科特征、面向应用的综合信息系统。不同领域的研究者基于不同的研究起点，对物联网的描述有不同的侧重点，因此目前物联网并没有一个统一的定义。

在工信部于 2011 年发布的物联网白皮书^[7]中，关于物联网的定义为：物联网是通信网和互联网的拓展应用和网络延伸，它利用感知技术与智能装置对物理世界进行感知识别，通过网络传输互联，进行计算、处理和知识挖掘，实现人与物、物与物信息交互和无缝链接，达到对物理世界实时控制、精确管理和科学决策目的。

狭义上的物联网是连接物与物的网络，可以实现智能化的物品识别与管理。从广义上说，物联网可以看做信息世界与物理世界的融合，通过对事物进行数字

化表征，实现物与物、人与物、人与现实环境之间的高效信息交互，并通过新的服务模式使信息技术全面融入人类社会。物联网的基本特征可概括为全面感知、可靠传送和智能处理。

1.2.1 物联网的信息功能模型

物联网的核心功能是实现信息由物到人的传递，沟通物理世界与信息世界。围绕信息的流动过程，物联网的信息功能模型可以抽象如图 1-2 所示。

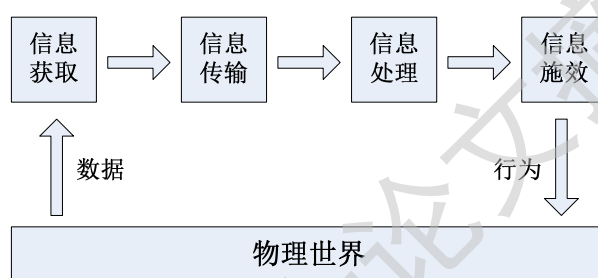


图 1-2 物联网的信息功能模型

(1) 信息获取：包括对于物理世界的信息的感知和信息的识别，信息感知指对事物状态及其变化的敏感和知觉；信息识别指能把所感受到的事物状态及其变化表示出来。

物联网所采集的信息主要分为以下几类：

传感信息：对物理量、化学量或生物量如温度、湿度、压力、气体浓度、生命体征等信息进行识别，并转换为可供识读与传输的电磁信号或其他所需形式的信号，主要通过传感器网络进行采集；

物品属性信息：主要指非物品本身携带而是人为附加的信息，如物品名称、型号、特性、价格等信息，主要通过射频识别系统进行采集；

工作状态信息：如仪器、设备的工作参数等；

地理位置信息：如物品所处的地理位置等。

(2) 信息传输：包括信息发送、传递和接收等环节，完成把事物状态及其变化方式从空间（或时间）上的一点传送到另一点的任务，即一般意义上的通信过程。

(3) 信息处理：指对信息的加工过程，其目的是实现对事物的认知，以及

利用已有的信息产生新的信息即制定决策的过程。

(4) 信息施效：指信息发挥效用的过程，根据不同的信息具有不同的实现形式，其中最主要的是通过调节对象事物的状态及其变换方式，使对象处于预期的运作状态。

1.2.2 物联网的体系架构

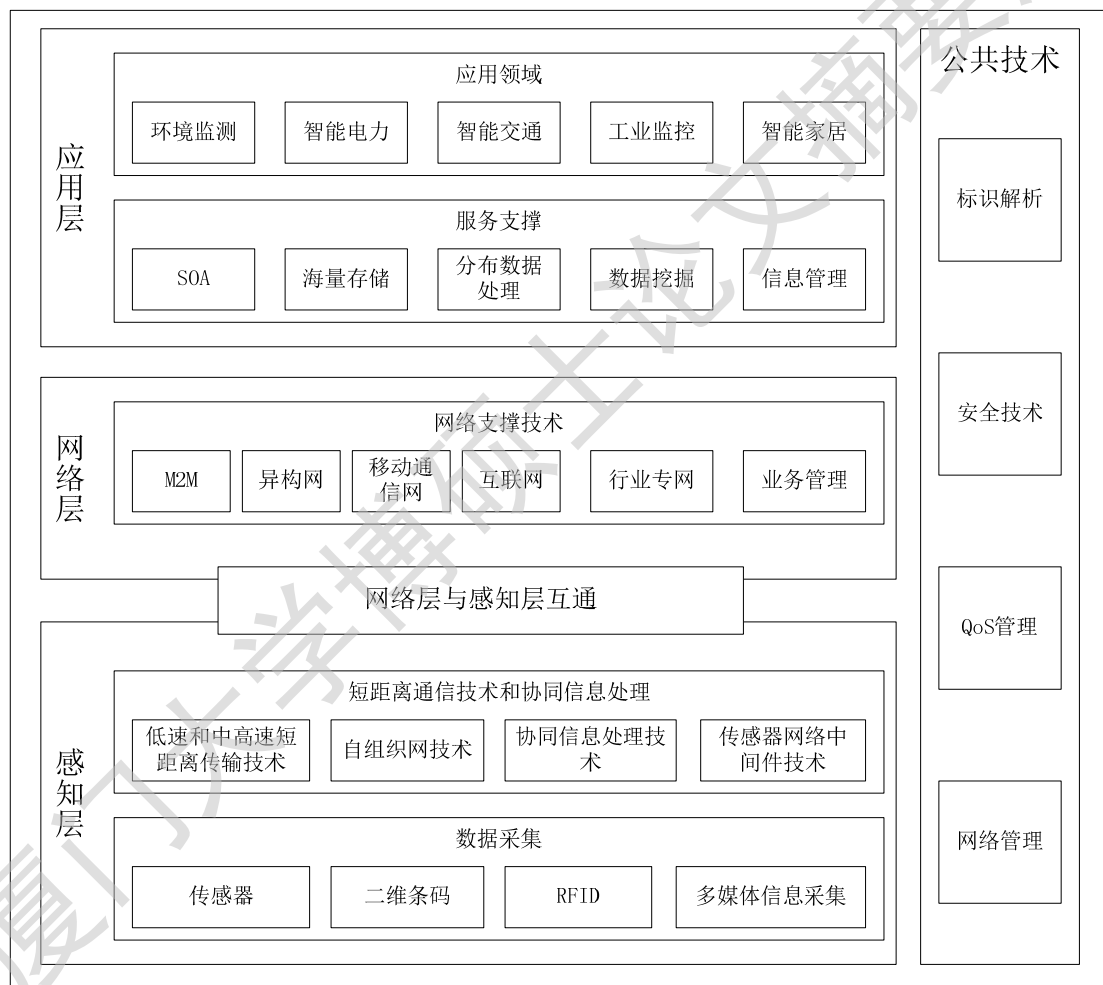


图 1-3 物联网技术架构

物联网作为一种形式多样的聚合性复杂系统，涉及了信息技术自上而下的每一个层面，其体系架构一般可分为感知层、网络层、应用层三个层面，如图 1-3 所示。其中，公共技术不属于物联网技术的某个特定层面，而是与物联网技术架构的 3 个层面都有关系。

1、感知层

感知层由数据采集子层、短距离通信技术和协同信息处理子层组成。

(1) 数据采集子层通过各种类型的传感器获取物理世界中发生的物理事件和数据信息,例如各种物理量、标识、音视频多媒体数据。物联网的数据采集涉及传感器、RFID、多媒体信息采集、二维码和实时定位等技术。

(2) 短距离通信技术和协同信息处理子层的数据在局部范围内进行协同处理,以提高信息的精度,降低信息的冗余度,并通过具有自组织能力的短距离传感器网络接入广域承载网络。

感知层中间件技术旨在解决感知层数据与多种应用平台间的兼容性问题,包括代码管理、服务管理、状态管理、设备管理、时间同步、定位等。在有些应用中还需要通过执行器或其他智能终端对感知结果作出反应,实现智能控制。该部分除 RFID、短距离通信、工业总线等技术较为成熟外,尚需研制大量物联网特有的技术标准。

2、网络层

网络层将来自感知层的各类信息通过基础承载网络传输到应用层,包括移动通信网、互联网、卫星网、广电网、行业专网及形成的融合网络等。根据应用需求,可以作为透明传输的网络层,也可以升级以满足未来不同内容的传输要求。经过十余年的技术发展,移动通信网和互联网等传输技术已经比较成熟,在物联网的早期阶段基本能够满足物联网中数据传输的需要。网络层主要关注来自感知层的、经过初步处理的数据经由各类网络的传输问题。这设计智能路由器、不同网络传输协议的互通、自组织通信等多种网络技术。其中,全局范围内的标识解析将在该层完成。该部分除全局标识解析外,其他技术较为成熟,现有标准较为完备。

3、应用层

物联网的核心功能是对信息资源进行采集、开发和利用、

(1) 服务支撑子层的主要功能是根据底层采集的数据,形成与业务需求向适应、实时更新的动态数据资源库。该部分将采用元数据注册、发现元数据、信息资源目录、互操作元模型、分类编码、并行计算、数据挖掘、数据收割、智能搜索等各项技术,重点研制物联网数据模型、元数据、本体、服务等标准,开展物联网数据体系结构、信息资源规划、信息资源库设计和维护等技术;各个业务

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.